

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-200214

(43) 公開日 平成10年(1998) 7月31日

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

F I

H01S 3/18

H01S 3/18

H01L 33/00

H01L 33/00

C

審査請求 有 請求項の数 8 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-5231

(22) 出願日 平成9年(1997) 1月16日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 木村 明隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

(72) 発明者 笹岡 千秋

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

(72) 発明者 仁道 正明

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株

式会社内

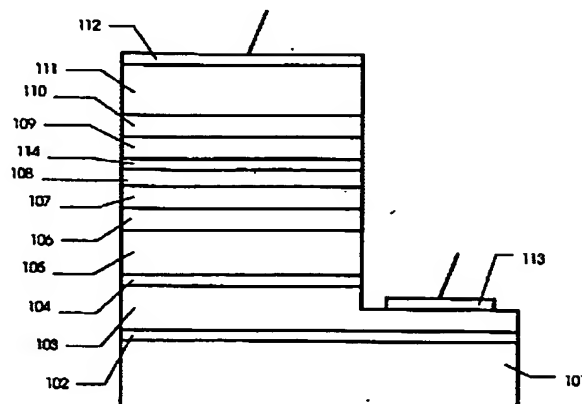
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 p型ドーパント材料拡散防止層付き窒化ガリウム系発光素子

(57) 【要約】

【課題】 p型のドーパントであるマグネシウムの発光層への拡散を防止することによって、バンド間遷移確率の高い窒化ガリウム系レーザまたは設計値通りのスペクトルで発光する窒化ガリウム系発光ダイオードなどの窒化ガリウム系発光素子を提供すること。

【解決手段】 マグネシウムが添加されたp型半導体層と発光層の間に、珪素が添加されたn型半導体層を形成する。前記n型半導体層がマグネシウムの拡散を防止するため、マグネシウムがp型半導体層から発光層へと拡散することがない。よって、本発明の窒化ガリウム系レーザは、量子井戸層に於けるバンド間遷移確率が低下することがなく、発振しきい値電流が低い。また本発明の発光ダイオードは、発光が期待したスペクトルからずれることがない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型半導体層とn型半導体層により活性層を挟んだダブルヘテロ構造を有し、前記p型半導体層に半導体層中を拡散しやすいp型ドーパント材料が添加された窒化ガリウム系発光素子であって、前記p型半導体層と活性層の間にn型拡散防止層が設けられていることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項2】 p型半導体層とn型半導体層により活性層を挟んだダブルヘテロ構造を有し、前記p型半導体層に半導体層中を拡散しやすいp型ドーパント材料が添加され、前記活性層とp型半導体層の間にインジウム解離防止層が設けられた窒化ガリウム系発光素子であって、前記p型半導体層とインジウム解離防止層の間にn型拡散防止層が設けられていることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項3】 p型半導体層とn型半導体層により活性層を挟んだダブルヘテロ構造を有し、前記p型半導体層に半導体層中を拡散しやすいp型ドーパント材料が添加され、前記活性層とp型半導体層の間にインジウム解離防止層が設けられた窒化ガリウム系発光素子であって、前記インジウム解離防止層がn型半導体層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項4】 p型半導体層とn型半導体層により量子井戸活性層を挟んだダブルヘテロ構造を有し、前記p型半導体層に半導体層中を拡散しやすいp型ドーパント材料が添加された窒化ガリウム系発光素子であって、前記量子井戸活性層のp電極側の障壁層がn型半導体層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項5】 p型半導体層とn型半導体層により多重量子井戸活性層を挟んだダブルヘテロ構造を有し、前記p型半導体層に半導体層中を拡散しやすいp型ドーパント材料が添加された窒化ガリウム系発光素子であって、前記多重量子井戸活性層の障壁層がn型半導体層であることを特徴とする窒化ガリウム系発光素子。

【請求項6】 前記活性層の組成が一般式  $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) であることを特徴とする請求項1又は2又は3又は4又は5記載の窒化ガリウム系発光素子。

【請求項7】 前記p型半導体層の組成が一般式  $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ )、前記n型半導体層の組成が一般式  $In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $0 \leq x+y \leq 1$ ) であることを特徴とする請求項6記載の窒化ガリウム系発光素子。

【請求項8】 前記p型半導体のドーパント材料がマグネシウムであり、n型半導体のドーパント材料が珪素であることを特徴とする請求項1又は2又は3又は4又は5又は6又は7記載の窒化ガリウム系発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は窒化ガリウム系発光素子に関し、特にp型のドーパント材料の活性層への拡散を防止した窒化ガリウム系発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】 窒化ガリウムは、磷化インジウムや砒化ガリウムといった従来の一般的な化合物半導体に比べ、禁制帯エネルギーが大きい。そのため、窒化ガリウム系化合物半導体は緑から紫外にかけての発光素子、特に半導体レーザ（以下単にレーザ）への応用が期待されている。

【0003】 従来、窒化ガリウム系の発光素子は、発光層より基板側にn型半導体層、表面側にp型半導体層が形成されていた。

【0004】 図8は、上記のような従来の技術を用いた窒化ガリウム系レーザの概略断面図である(S.Nakamura et al., Extended Abstracts of 1996 International Conference on Solid State Devices and Materials, Yokohama, 1996, pp. 67-69)。

【0005】 図8に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Åのアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  クラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型  $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$  クラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層106、厚さ25Åのアンドープの  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  量子井戸層と厚さ50Åのアンドープの  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  障壁層からなる7周期の多重量子井戸構造活性層807、マグネシウムが添加された厚さ200Åのp型  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  インジウム解離防止層808、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型  $Al_{0.07}Ga_{0.93}N$  クラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル（第1層）および金（第2層）からなるp電極112、チタン（第1層）およびアルミニウム（第2層）からなるn電極113が形成されている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 従来の技術を用いた窒化ガリウム系発光素子に於いては、p型のドーパントであるマグネシウムが半導体中を拡散しやすいため、p型半導体層からマグネシウムが発光層へと拡散し、発光素子がレーザの場合はバンド間遷移確率の低下、または発光ダイオードの場合は設計した発光スペクトルからのずれなどを引き起こしていた。

【0007】 例えば、図8に示された窒化ガリウム系レーザに於いては、p型  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  インジウム解

離防止層 808 中に添加されているマグネシウムが、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N/I<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N 多重量子井戸活性層 807 の 7 層ある In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N 量子井戸層中へと拡散している。

【0008】本発明の目的は、p 型のドーパントであるマグネシウムの発光層への拡散を防止することによって、バンド間遷移確率の高い窒化ガリウム系レーザまたは設計値通りのスペクトルで発光する窒化ガリウム系発光ダイオードなどの窒化ガリウム系発光素子を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の請求項 1 に係る窒化ガリウム系発光素子は、半導体層中を拡散しやすい p 型ドーパント材料が添加された p 型半導体層と活性層の間に n 型拡散防止層が設けられていることを特徴とする。

【0010】本発明の請求項 2 に係る窒化ガリウム系発光素子は、半導体層中を拡散しやすい p 型ドーパント材料が添加された p 型半導体層と活性層の間にインジウム解離防止層が設けられ、この p 型半導体層とインジウム解離防止層の間に n 型拡散防止層が設けられていることを特徴とする。

【0011】本発明の請求項 3 に係る窒化ガリウム系発光素子は、半導体層中を拡散しやすい p 型ドーパント材料が添加された p 型半導体層と活性層の間にインジウム解離防止層が設けられ、インジウム解離防止層が n 型半導体層であることを特徴とする。

【0012】本発明の請求項 4 に係る窒化ガリウム系発光素子は、量子井戸活性層の半導体層中を拡散しやすい p 型ドーパント材料が添加された p 型半導体層側の障壁層が n 型半導体層であることを特徴とする。

【0013】本発明の請求項 5 に係る窒化ガリウム系発光素子は、多重量子井戸活性層の障壁層が n 型半導体層であることを特徴とする。

【0014】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態について、実施例に基づき図面を参照して詳しく説明する。

【0015】《実施例 1》図 1 は、本発明の実施例 1 における窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図 1 に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20) 面を表面とするサファイア基板 101 上に、厚さ 300 Å のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層 102、珪素が添加された厚さ 3 μm の n 型窒化ガリウムコンタクト層 103、珪素が添加された厚さ 0.1 μm の n 型 In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N クラック防止層 104、珪素が添加された厚さ 0.4 μm の n 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 105、珪素が添加された厚さ 0.1 μm の n 型窒化ガリウム光ガイド層 106、7 周期の多重量子井戸構造活性層 107、厚さ 200 Å のアンドープの AlGaIn インジウム解離防止層 108、珪素が添加さ

れた厚さ 200 Å の n 型窒化ガリウム拡散防止層 114、マグネシウムが添加された厚さ 0.1 μm の p 型窒化ガリウム光ガイド層 109、マグネシウムが添加された厚さ 0.4 μm の p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 110、マグネシウムが添加された厚さ 0.2 μm の p 型窒化ガリウムコンタクト層 111、ニッケル (第 1 層) および金 (第 2 層) からなる p 電極 112、チタン (第 1 層) およびアルミニウム (第 2 層) からなる n 電極 113 が形成されている。

10 【0016】図 5 に実施例 1 における多重量子井戸構造活性層 107 の概略断面図を示す。図 5 に於いて、多重量子井戸構造活性層 107 は、厚さ 50 Å のアンドープの In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N 障壁層 501 と厚さ 25 Å のアンドープの In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N 量子井戸層 502 との周期構造からなる。

【0017】本実施例 1 では、InGaIn 量子井戸層と InGaIn 障壁層からなる多重量子井戸活性層に続いて形成されたアンドープの AlGaIn インジウム解離防止層とマグネシウムが添加された p 型窒化ガリウム光ガイド層との間に、珪素が添加された n 型窒化ガリウム層を形成することにより、マグネシウムが量子井戸層中へ拡散することを防止している。

【0018】《実施例 2》図 2 は、本発明の実施例 2 における窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図 2 に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20) 面を表面とするサファイア基板 101 上に、厚さ 300 Å のアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層 102、珪素が添加された厚さ 3 μm の n 型窒化ガリウムコンタクト層 103、珪素が添加された厚さ 0.1 μm の n 型 In<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N クラック防止層 104、珪素が添加された厚さ 0.4 μm の n 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 105、珪素が添加された厚さ 0.1 μm の n 型窒化ガリウム光ガイド層 106、7 周期の多重量子井戸構造活性層 107、珪素が添加された厚さ 200 Å の n 型 Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N インジウム解離防止層 208、マグネシウムが添加された厚さ 0.1 μm の p 型窒化ガリウム光ガイド層 109、マグネシウムが添加された厚さ 0.4 μm の p 型 Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N クラッド層 110、マグネシウムが添加された厚さ 0.2 μm の p 型窒化ガリウムコンタクト層 111、ニッケル (第 1 層) および金 (第 2 層) からなる p 電極 112、チタン (第 1 層) およびアルミニウム (第 2 層) からなる n 電極 113 が形成されている。多重量子井戸構造活性層 107 の構造は実施例 1 と同様である。

【0019】本実施例 2 では、InGaIn 量子井戸層と InGaIn 障壁層からなる多重量子井戸活性層に続いて形成された AlGaIn インジウム解離防止層に珪素を添加することにより、マグネシウムが量子井戸層中へ拡散することを防止している。

50 【0020】《実施例 3》図 3 は、本発明の実施例 3 に

における窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図3に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Åのアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Nクラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nクラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層106、7周期の多重量子井戸構造活性層307、マグネシウムが添加された厚さ200Åのp型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nインジウム解離防止層808、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nクラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル(第1層)および金(第2層)からなるp電極112、チタン(第1層)およびアルミニウム(第2層)からなるn電極113が形成されている。

【0021】図6に実施例3における多重量子井戸構造活性層307の概略断面図を示す。図6に於いて、多重量子井戸構造活性層は、図6上から順に、珪素が添加された厚さ35Åのn型In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層601と厚さ15ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層501と厚さ25ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N量子井戸層502と、厚さ50ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層501と厚さ25ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N量子井戸層502との周期構造とからなる。

【0022】本実施例3では、InGa<sub>0.47</sub>N量子井戸層とInGa<sub>0.47</sub>N障壁層からなる多重量子井戸活性層の最後の障壁層に珪素を添加することにより、マグネシウムが量子井戸層中へ拡散することを防止している。

【0023】《実施例4》図4は、本発明の実施例4における窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。図4に於いて、この窒化ガリウム系レーザは、(11-20)面を表面とするサファイア基板101上に、厚さ300Åのアンドープの窒化ガリウム低温成長バッファ層102、珪素が添加された厚さ3μmのn型窒化ガリウムコンタクト層103、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>Nクラック防止層104、珪素が添加された厚さ0.4μmのn型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nクラッド層105、珪素が添加された厚さ0.1μmのn型窒化ガリウム光ガイド層106、7周期の多重量子井戸構造活性層407、マグネシウムが添加された厚さ200Åのp型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nインジウム解離防止層808、マグネシウムが添加された厚さ0.1μmのp型窒化ガリウム光ガイド層109、マグネシウムが添加された厚さ0.4μmのp型Al<sub>0.17</sub>Ga<sub>0.83</sub>Nク

ラッド層110、マグネシウムが添加された厚さ0.2μmのp型窒化ガリウムコンタクト層111、ニッケル(第1層)および金(第2層)からなるp電極112、チタン(第1層)およびアルミニウム(第2層)からなるn電極113が形成されている。

【0024】図7に実施例4における多重量子井戸構造活性層407の概略断面図を示す。図7に於いて、多重量子井戸構造活性層は、図7上から順に、珪素が添加された厚さ35Åのn型In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層601と厚さ15ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層501と、厚さ25ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N量子井戸層502と厚さ15ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層501と珪素が添加された厚さ20Åのn型In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層601と厚さ15ÅのアンドープのIn<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層501と珪素が添加された厚さ35Åのn型In<sub>0.53</sub>Ga<sub>0.47</sub>N障壁層601とからなる。

【0025】本実施例4では、InGa<sub>0.47</sub>N量子井戸層とInGa<sub>0.47</sub>N障壁層からなる多重量子井戸活性層の全ての障壁層に珪素を添加することにより、マグネシウムが量子井戸層中へ拡散することを防止している。

【0026】特に実施例4の窒化ガリウム系レーザは、多重量子井戸活性層407に含まれる全ての障壁層601に珪素が添加されているが、このように変調nドープされた多重量子井戸活性層を持つレーザは、通常のアンドープの多重量子井戸活性層を持つレーザに比べ、発振しきい値電流密度が低いという利点もある(K. Uomi, Jpn. J. Appl. Phys. 29(1990)p. 81)。

【0027】上記実施例1ないし実施例4の窒化ガリウム系レーザは、いずれも、レーザの発光層である量子井戸層とp型半導体層との間に、珪素が添加されたn型半導体層が形成されている。p型のドーパントであるマグネシウムは半導体中を拡散しやすいが、量子井戸層とp型半導体層との間に形成されたn型半導体層がマグネシウムの拡散を防止するため、マグネシウムがp型半導体層から量子井戸層へと拡散することがない。よって、上記実施例1ないし実施例4に示されたような本発明の窒化ガリウム系レーザは、量子井戸層に於けるバンド間遷移確率が低下することがなく、発振しきい値電流が低くなる。

【0028】本実施例1~4で用いたマグネシウムがドーパされたp型半導体層のドーピング濃度は $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ (キャリア濃度は $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )、珪素がドーパされたn型半導体層のドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、珪素がドーパされたマグネシウム拡散防止層のドーピング濃度は $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ とした。

【0029】なお、珪素がドーパされたマグネシウム拡散防止層は厚さ30Å以上で、ドーピング濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上であればマグネシウムの拡散を防止でき

る。拡散防止層の厚さとドーピング濃度については適用する素子構造によって適宜最適な値を定めればよい。

【0030】なお本実施例ではp型ドーパント材料として、マグネシウムを用いたがこれに限られるわけではなく、半導体に拡散しやすいp型ドーパント材料であればいずれにも適用可能である。

【0031】また本実施例1～4では活性層として多重量子井戸(MQW)活性層の例を示したが、これに限られるわけではなく実施例1～3はSQW活性層、実施例1、2はバルク活性層にも適用可能である。また活性層の組成としては一般式  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) で表されるものであればよく、また活性層を挟みダブルヘテロ構造を形成するp型、n型半導体層の組成も一般式  $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$  ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq x+y \leq 1$ ) の範囲で適用できるものであればよい。

【0032】

【発明の効果】本発明の、いずれも活性層(量子井戸構造も含む)とp型半導体層との間に、n型半導体層が形成されている。半導体中を拡散しやすいp型のドーパントは活性層とp型半導体層との間に形成されたn型半導体層が拡散を防止するため、p型ドーパント材料がp型半導体層から活性層へと拡散することがない。

【0033】また発光ダイオードの場合、発光層とp型半導体層の間にn型半導体層を形成すれば発光が期待したスペクトルからずれることがない。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1を示す窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図2】本発明の実施例2を示す窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図3】本発明の実施例3を示す窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

【図4】本発明の実施例3を示す窒化ガリウム系レーザ

の概略断面図である。

【図5】本発明の実施例1ないし実施例2に示した窒化ガリウム系レーザの多重量子井戸活性層を示す概略断面図である。

【図6】本発明の実施例3に示す窒化ガリウム系レーザの多重量子井戸活性層を示す概略断面図である。

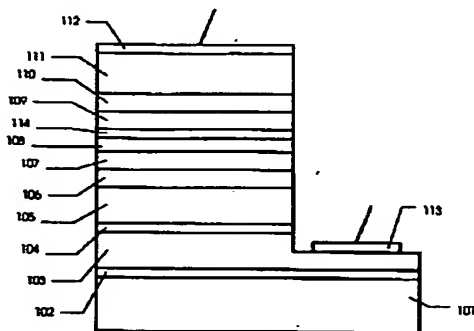
【図7】本発明の実施例3に示す窒化ガリウム系レーザの多重量子井戸活性層を示す概略断面図である。

【図8】従来の技術を用いた窒化ガリウム系レーザの概略断面図である。

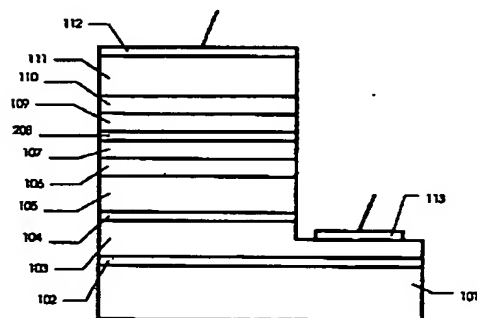
【符号の説明】

- 101 (11-20)面を表面とするサファイア基板
- 102 窒化ガリウム低温成長バッファ層
- 103 n型窒化ガリウムコンタクト層
- 104 n型  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  クラック防止層
- 105 n型  $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$  クラッド層
- 106 n型窒化ガリウム光ガイド層
- 107 多重量子井戸活性層
- 108  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  インジウム解離防止層
- 109 p型窒化ガリウム光ガイド層
- 110 p型  $Al_{0.05}Ga_{0.95}N$  クラッド層
- 111 p型窒化ガリウムコンタクト層
- 112 ニッケルおよび金からなるp電極
- 113 チタンおよびアルミニウムからなるn電極
- 114 n型窒化ガリウム拡散防止層
- 208 n型  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  インジウム解離防止層
- 307 多重量子井戸活性層
- 407 多重量子井戸活性層
- 501  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  障壁層
- 502  $In_{0.1}Ga_{0.9}N$  量子井戸層
- 601 n型  $In_{0.05}Ga_{0.95}N$  障壁層
- 807 多重量子井戸活性層
- 808 p型  $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$  インジウム解離防止層

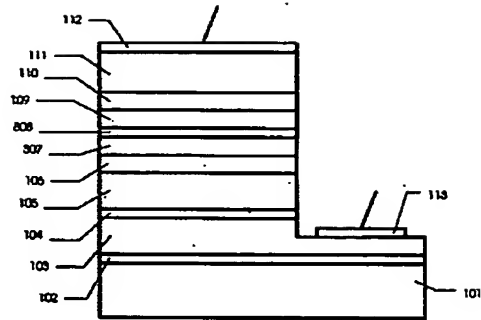
【図1】



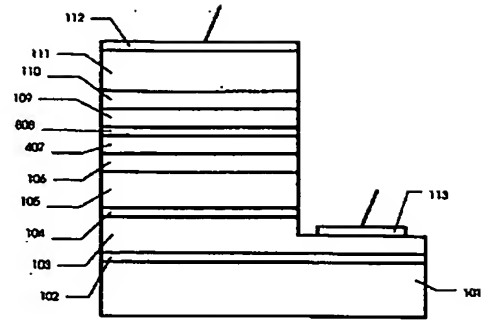
【図2】



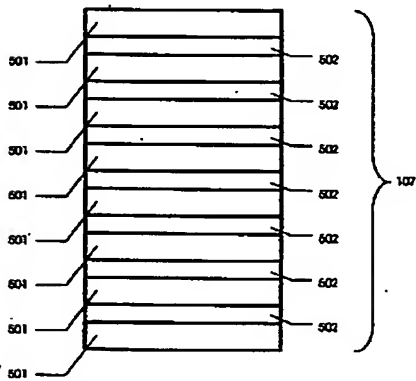
【図3】



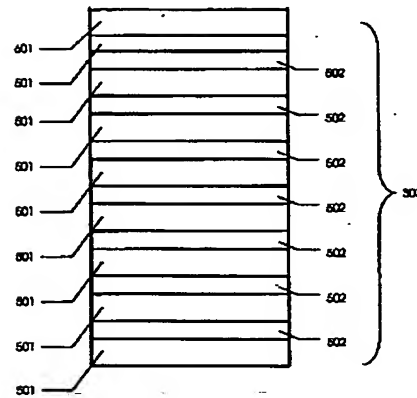
【図4】



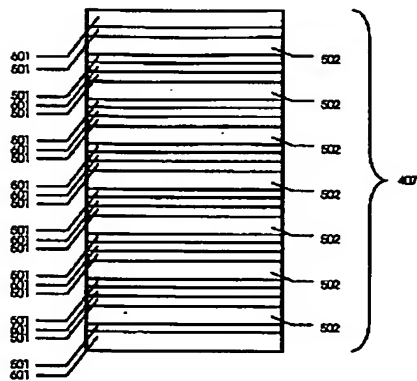
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

